

(19)



(11)

EP 4 252 911 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
04.10.2023 Bulletin 2023/40

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B03C 1/033 ^(2006.01) **B03C 1/24** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23166249.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B03C 1/24; B03C 1/0335

(22) Date de dépôt: **31.03.2023**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(30) Priorité: **01.04.2022 FR 2203012**

(71) Demandeur: **Etablissements Raoul Lenoir
54400 Cosnes et Romain (FR)**

(72) Inventeurs:
• **PITOT, Pierre
38240 MEYLAN (FR)**
• **DURAND, Gregory
54800 HANNONVILLE-SUZEMONT (FR)**
• **LAURENT, Quentin
38000 GRENOBLE (FR)**
• **STEICHEN, Dominique
57290 FAMECK (FR)**
• **BRISEBARD, Cyril
38100 GRENOBLE (FR)**

(74) Mandataire: **Regimbeau
20, rue de Chazelles
75847 Paris Cedex 17 (FR)**

(54) SYSTEME DE TRI D'OBJETS METALLIQUES

(57) L'invention concerne un système de tri par séparation magnétique d'objets métalliques, comprenant :
- un noyau électromagnétique comprenant :
• au moins une première portion (1),
• une seconde portion (2),
• et un fond (3),
- un volet de tri agencé en regard dudit noyau électromagnétique de sorte à ménager, un espace de circulation pour un convoyeur (6) d'objets à trier de la première portion (1) vers la seconde portion (2),

ledit système de tri étant caractérisé en ce que le volet de tri comprend un élément magnétique (4) agencé de manière à former un entrefer (E1) entre la première portion et le volet de tri, ledit entrefer formant une barrière magnétique s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques, de sorte que lesdits objets sont éjectés du convoyeur (6),
la seconde portion étant agencée pour assurer un retour des lignes de champ magnétique vers la première portion.

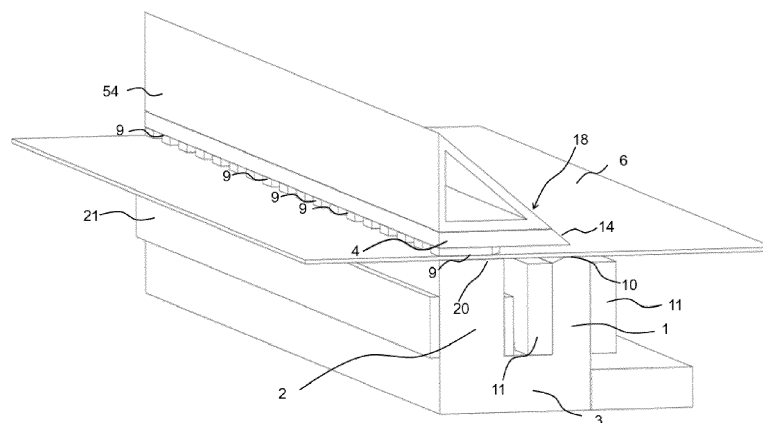


FIGURE 2

Description

$$E_{mag} = \frac{1}{2} * H B V$$

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne un système de tri d'objets métalliques.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Les objets magnétiques, comme le fer, l'acier et certains alliages inoxydables magnétiques peuvent être facilement extraits avec des champs magnétiques statiques puis être recyclés.

[0003] Le tri et la récupération des objets métalliques non magnétiques sont effectués en utilisant un champ magnétique alternatif, produisant des courants électriques induits dans lesdits objets, qui sont conducteurs d'électricité. Ces courants induits interagissent avec ce même champ magnétique environnant pour donner naissance à des forces électromagnétiques dont la direction est celle du gradient de champ magnétique décroissant. Dans les dispositifs de tri par séparation magnétique, on peut utiliser ces forces afin de dévier les objets conducteurs de l'électricité, qui sont typiquement métalliques.

[0004] Une solution utilisée aujourd'hui pour créer un champ magnétique alternatif est la roue polaire. Cette solution implique de faire tourner une roue polaire constituée d'une alternance d'aimants permanents. L'alternance de polarité des aimants entraînés en rotation crée un champ magnétique variable pouvant atteindre plusieurs Tesla. Les objets non magnétiques conducteurs de l'électricité sont entraînés dans ce champ magnétique variable tournant et sont accélérés par rapport aux objets non conducteurs de l'électricité.

[0005] Un tel système est décrit dans le document FR 2116430. Ce système est fonctionnel pour des pièces en aluminium suffisamment grosses qui sont légères et suffisamment conductrices. Cependant la construction mécanique dudit système implique une limitation de la fréquence du champ magnétique. Pour cette raison, ledit système ne permet pas de trier les matériaux insuffisamment conducteurs d'électricité et trop denses tel que l'inox amagnétique et trie difficilement les matériaux très conducteurs et trop denses tel que le cuivre. Il présente également des problèmes de fiabilité et de sécurité importants, notamment en cas d'arrêt d'urgence, en raison de l'inertie de la roue polaire massive.

[0006] Une autre solution est d'utiliser un tapis passant au-dessus de l'entrefer d'un électroaimant alimenté avec un courant électrique alternatif. Un tel système est décrit dans le document WO2017/044863. Le principe est d'utiliser les courants électriques tourbillonnaires induits dans les objets en présence du champ magnétique alternatif non homogène pour créer des forces électromagnétiques dont la direction est le gradient du champ magnétique.

[0007] L'énergie magnétique E_{mag} du système s'élève à

[0008] H étant l'excitation magnétique, B l'induction magnétique et V le volume de l'espace externe excité correspondant à l'entrefer. La puissance réactive du système correspond à l'évacuation puis à la génération de cette énergie magnétique à chaque période de fonctionnement, c'est-à-dire environ 20 000 à 100 000 fois par seconde.

[0009] Ce système nécessite donc une puissance réactive très importante pour créer le champ magnétique à l'entrefer, notamment pour les grands entrefers qui ne sont pas délimités.

[0010] On peut augmenter l'efficacité d'un tel système en réduisant la dimension de l'entrefer. Cependant, lorsque l'entrefer est petit, la zone de tri est petite également et elle ne permet donc pas de trier des grands volumes d'objets, ni des objets de tailles très différentes. Or pour pouvoir obtenir une application industrielle, il est nécessaire de trier plusieurs centaines de kilogrammes d'objets par heure avec des systèmes de convoyeurs et de tri pouvant atteindre plusieurs mètres de large.

[0011] Aucun de ces dispositifs ne prend en compte les frottements de l'air qui sont en effet négligeables pour les objets de gros volume mais sont prépondérants pour les petites particules, notamment pendant des phases de chute ou de rebond qui sont typiquement présents au cours du tri par un champ magnétique alternatif. Les frottements de l'air vont influencer sur la résultante des forces subies par les objets.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0012] Un but de l'invention est de proposer un dispositif de tri par séparation magnétique d'objets métalliques non magnétiques permettant de trier des grands volumes de produits de toute forme et/ou taille (déchets, produits recyclables, poudres, ...) et des mélanges d'objets de tailles très différentes. L'invention vise également à trier des objets en des matériaux présentant une très forte conductivité électrique, tels que le cuivre, ou une très faible conductivité électrique, tels que l'inox amagnétique.

[0013] A cet effet, l'invention propose un système de tri par séparation magnétique d'objets métalliques, comprenant :

- un noyau électromagnétique comprenant :

- au moins une première portion comportant un bobinage,
- une seconde portion, la seconde portion étant plus large que la première portion,
- et un fond reliant la première portion à la seconde portion,

- un volet de tri agencé en regard dudit noyau élec-

tromagnétique de sorte à ménager, entre le volet de tri et le noyau électromagnétique, un espace de circulation pour un convoyeur d'objets à trier de la première portion vers la seconde portion,

ledit système de tri étant caractérisé en ce que le volet de tri comprend un élément magnétique agencé de manière à former un entrefer entre la première portion et le volet de tri, ledit entrefer formant une barrière magnétique s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques, de sorte que lesdits objets métalliques non magnétiques sont éjectés du convoyeur, la seconde portion étant agencée entre le fond et une portion de l'élément magnétique du volet de tri opposée à l'entrefer pour assurer un retour des lignes de champ magnétique vers la première portion.

[0014] Une telle géométrie permet d'optimiser la distribution du champ magnétique pour l'éjection des objets métalliques non magnétiques. En outre, le système de tri est très réactif, notamment en cas d'arrêt d'urgence, et présente ainsi des avantages en termes de fiabilité et de sécurité.

[0015] De préférence, l'élément magnétique du volet de tri s'étend parallèlement au convoyeur.

[0016] Avantageusement, l'élément magnétique du volet de tri se présente sous la forme d'une plaque plane.

[0017] De manière avantageuse, le volet de tri comprend au moins une portion non magnétique.

[0018] Dans certains modes de réalisation, l'élément magnétique présente un bord agencé en regard de la première portion dans une direction transversale au convoyeur, ledit bord étant biseauté de sorte à former un plan incliné orienté dans le sens de circulation du convoyeur en s'éloignant du noyau électromagnétique. Le volet de tri peut comprendre en outre au moins une plaque magnétique parallèle au bord biseauté de l'élément magnétique, chaque plaque étant agencée en regard de la première portion pour former un entrefer respectif formant une barrière magnétique supplémentaire s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques.

[0019] De préférence, la portion non magnétique du volet de tri comprend une rampe d'éjection des objets métalliques non magnétiques s'étendant sur l'élément magnétique du côté opposé au noyau électromagnétique, ladite rampe d'éjection étant coplanaire avec le bord biseauté de l'élément magnétique.

[0020] Avantageusement, le bord biseauté de l'élément magnétique est en retrait par rapport à une région centrale de la première portion dans le sens de circulation du convoyeur.

[0021] De manière avantageuse, la deuxième portion comprend un bobinage et le nombre de tours du bobinage sur la première portion est supérieur au nombre de tours du bobinage sur la deuxième portion.

[0022] La surface de l'au moins une première portion opposée au fond peut présenter au moins un chanfrein

le long de l'entrefer.

[0023] De préférence, le système de tri comprend une ou plusieurs pièces magnétiques agencées entre l'élément magnétique du volet de tri et la deuxième portion du noyau électromagnétique pour guider le champ magnétique dans ces pièces magnétique et ainsi minimiser le trajet des lignes de champ magnétique dans l'air entre le volet de tri et la deuxième portion.

[0024] De manière avantageuse, l'au moins une première portion et la deuxième portion sont en ferrite, et/ou l'élément magnétique du volet de tri est en ferrite.

[0025] L'invention se rapporte aussi à une installation de tri d'un ensemble d'objets contenant des objets métalliques, comprenant

- un système de tri tel que décrit ci-dessus, et
- un convoyeur adapté pour transporter l'ensemble d'objets en direction du système de tri, ledit convoyeur étant agencé de sorte à traverser le système de tri entre le noyau électromagnétique et le volet de tri, la barrière magnétique formée par l'un entrefer entre la première portion du noyau électromagnétique et le volet de tri étant adaptée pour éjecter les objets métalliques non magnétiques, et
- un système de récupération agencé pour récupérer les objets métalliques non magnétiques éjectés.

[0026] De préférence, le convoyeur est une bande de convoyage ou une glissière.

[0027] De manière avantageuse, l'installation de tri comprend en outre une zone hermétique agencée au-dessus d'au moins du convoyeur et du volet de tri, et un dispositif de dépressurisation agencé de manière à créer, dans ladite zone, un mouvement d'air adapté pour orienter les objets métalliques non magnétiques éjectés par le système de tri magnétique dans une direction définie.

[0028] Dans certains modes de réalisation, l'installation de tri comprend un système de refroidissement du noyau électromagnétique.

[0029] L'invention se rapporte aussi à un procédé de tri d'objets métalliques, comprenant

- le transport d'un ensemble d'objets métalliques dans une installation telle que décrite ci-dessus,
- l'éjection des objets métalliques non magnétiques par la barrière magnétique,
- le passage des objets non métalliques dans l'entrefer entre la première portion du noyau électromagnétique et le volet de tri.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0030] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

La figure 1 une vue schématique en coupe du principe d'éjection des particules conductrices avec un

volet de tri faisant partie du circuit magnétique

La figure 2 illustre un système d'éjection sur une grande largeur pour trier des grandes quantités d'objets.

La figure 3 est une vue schématique des lignes du champ magnétique dans un système de tri de déchets selon l'invention.

La figure 4 illustre un système de tri 4 comprenant plusieurs plaques parallèles à la surface biseautée du volet.

La figure 5 est une vue schématique des lignes du champ magnétique dans un système de tri d'objets métalliques non magnétiques comprenant plusieurs plaques parallèles à la surface biseautée du volet.

La figure 6 est une vue schématique en coupe d'une installation de tri de comprenant système de vide partiel.

La figure 7 illustre un système de tri de déchets comportant des bobines sur les deux portions et un moyen de fermeture du circuit magnétique.

La figure 8 illustre un système de tri de déchets comportant des bobines sur les deux portions, plusieurs plaques parallèles à la surface biseautée du volet, et un moyen de fermeture du circuit magnétique.

La figure 9 illustre un système de tri avec plusieurs volets de tri.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

Présentation du système

[0031] Les figures 1 et 2 illustrent un système de tri par séparation magnétique d'objets métalliques non magnétiques selon l'invention.

[0032] Le système permet de récupérer par exemple les objets métalliques dans les déchets tels que des métaux dans des déchets ménagers ou industriels et des produits broyés à recycler tels que des fenêtres, des palettes de bois, des câbles ou du verre. Une autre application est la transformation de grains alimentaires ou poudres pharmaceutiques, qui peuvent contenir des métaux conducteurs non-ferreux indésirables à retirer.

[0033] La taille desdits objets peut être très variable selon les applications. La taille des objets (entendue comme étant leur plus grande dimension) peut être comprise de 0,1 mm à 10 cm dans au moins deux directions.

[0034] Le système de tri comprend un noyau électromagnétique comprenant une première portion 1, une seconde portion 2 plus large que la première portion, et un fond 3 reliant la première portion à la seconde portion. De manière avantageuse, les portions 1 et 2 et le fond 3 sont de forme essentiellement parallélépipédique, assemblés en U. Dans certains modes de réalisation, les portions 1 et 2 et/ou le fond peuvent être courbées et/ou inclinées, formant ainsi un noyau dont la section peut être, de manière illustrative et non limitative, de forme

circulaire ou triangulaire.

[0035] La première portion 1 du noyau comporte un bobinage 11. Dans certains modes de réalisation, la deuxième portion 2 comprend un autre bobinage 21. De préférence, le nombre de tours du bobinage 11 sur la première portion 1 est supérieur au nombre de tours du bobinage 21 sur la deuxième portion 2. Chaque bobinage est en fil conducteur électrique. De préférence, le bobinage est en fil de cuivre comportant une isolation électrique, ou en tube de cuivre. Le nombre de tours et d'ampères du bobinage, dit aussi nombre d'ampères-tours, est configuré pour fournir une induction magnétique proche de l'induction de saturation du circuit magnétique, soit environ 300mT pour une ferrite.

[0036] De manière avantageuse, le noyau électromagnétique comprend en outre un système de refroidissement. Un tel système de refroidissement peut, de manière illustrative et non limitative, comporter une plaque refroidissante, un dissipateur de chaleur ou un joint gonflable rempli d'un liquide de refroidissement, par exemple de l'eau.

[0037] Le système comprend en outre un volet de tri agencé en regard dudit noyau électromagnétique. Ledit volet de tri comprend un élément magnétique 4 agencé de manière à former un entrefer E1 entre la première portion 1 et le volet de tri. L'élément magnétique du volet de tri s'étend jusqu'à une zone à proximité de la face supérieure 20 de la deuxième portion 2.

[0038] De préférence, l'élément magnétique 4 du volet de tri est en ferrite douce, en un composite magnétique nanocristallin ou en une poudre de fer comprimée avec un isolant électrique. Le volet de tri peut en outre comporter une ou plusieurs portions 54 non magnétiques.

[0039] De manière avantageuse, l'élément magnétique 4 du volet de tri se présente sous la forme d'une plaque plane s'étendant de l'entrefer E1 jusqu'à une zone en proximité de la face supérieure 20 de la deuxième portion 2.

[0040] La partie magnétique du volet de tri et le noyau forment ainsi un circuit magnétique comprenant un espace de circulation d'objets à trier entre le volet de tri et le noyau. On définit ainsi une zone d'entrée des objets à l'entrefer E1, et une zone de sortie des objets non-métalliques entre le volet de tri et la surface opposée à la deuxième portion 2 du noyau 3.

[0041] Le transport des objets entre la zone d'entrée et la zone de sortie est effectué par un convoyeur 6 passant par ledit espace de circulation. Le convoyeur peut comprendre une bande de convoyage refermée sur elle-même et circulant entre les deux portions et le volet de tri. De manière avantageuse, l'élément magnétique 4 du volet de tri s'étend parallèlement à la bande de convoyage.

[0042] De manière alternative, le convoyeur peut être une glissière ou tout autre moyen de transport des objets.

Circuit magnétique

[0043] L'élément magnétique du volet de tri 4 présente un bord 14 agencé en regard de la première portion 1 dans une direction transversale au convoyeur 6. De préférence, ledit bord 14 est biseauté de sorte à former un plan incliné orienté dans le sens de circulation du convoyeur en s'éloignant du noyau électromagnétique.

[0044] Dans certains modes de réalisation, le bord biseauté de l'élément magnétique est aligné avec une région centrale 10 de la première portion 1. Dans d'autres modes de réalisation, ledit bord biseauté 14 est décalé par rapport à la région centrale 10 de la première portion 1 vers l'avant ou vers l'arrière dans le sens de circulation du convoyeur 6.

[0045] Dans certains modes de réalisation, en référence à la figure 4, le volet de tri comprend en outre une ou plusieurs plaques magnétiques 24, 34 parallèles au bord biseauté 14 de l'élément magnétique du volet de tri. Chaque plaque est agencée en regard de la première portion 1 pour former un entrefer respectif E2, E3. Le nombre de plaques 24, 34 et d'entrefers E2, E3 est indiqué à titre purement illustratif et non limitatif. Le nombre de plaques 24, 34 est typiquement compris entre 1 et 3 et peut être plus élevé dans certains modes de réalisation.

[0046] La portion non magnétique du volet de tri peut comprendre une rampe d'éjection 54. Dans ce cas, ladite rampe s'étend sur l'élément magnétique du volet de tri, du côté opposé au noyau électromagnétique

[0047] Quand le bord 14 est biseauté formant un plan incliné, la rampe d'éjection peut être coplanaire avec le bord biseauté de l'élément magnétique ou décalée dans une direction dans le sens de la circulation des objets ou être décalée dans la direction opposée au sens de la circulation des objets. Pour un système de tri avec des dimensions données, l'emplacement de la rampe est choisi de sorte à trouver un compromis entre le positionnement de la rampe par rapport à la zone de l'éjection et une bonne fermeture du circuit magnétique.

[0048] De manière avantageuse, le noyau est constitué d'un matériau conducteur de champ magnétique et suffisamment peu conducteur de l'électricité afin d'éviter un échauffement par induction. De préférence, le noyau est constitué d'un matériau présentant une forte valeur de saturation en champ magnétique (supérieur 300mT) et de faibles pertes magnétiques (Cycle d'hystérésis et par courant électrique induit) à la fréquence du courant électrique alternatif appliqué aux bobinages afin de produire une forte densité du champ magnétique à l'intérieur du noyau.

[0049] Par exemple, le noyau magnétique être constitué d'un matériau présentant une valeur de perméabilité magnétique relative μ_r comprise entre 10 à 100 voire plus. De manière avantageuse, le noyau est en ferrite doux, par exemple du type Mn-Zn CF297, 3C90 ou un matériau ayant des propriétés magnétiques proches voire une saturation magnétique plus élevée que ce matériau. De manière alternative, le noyau peut par exemple

être en un composite magnétique nanocristallin ou en une poudre de fer comprimée avec un isolant électrique. De tels matériaux sont par exemple commercialisés sous les noms MPP, 3F3, 3c90, Nanodust™ KAM ou Nanodust™ KAH.

[0050] De préférence, la portion magnétique du volet de tri et, le cas échéant, chaque plaque 24, 34 est en ferrite doux, en un composite magnétique nanocristallin ou en une poudre de fer comprimée avec un isolant électrique, comme décrit pour le noyau magnétique. Les plaques 24, 34 et l'élément magnétique 4 du volet de tri peuvent être constitués du même matériau ou de matériaux différents.

[0051] La figure 3 illustre la concentration du champ magnétique dans un système de tri selon l'invention. La concentration maximale du champ magnétique est située dans la partie magnétique 4 du volet de tri et dans la première portion 1 du noyau magnétique. La concentration maximale du champ magnétique dans l'air est située à l'entrefer E1. Le gradient maximal du champ magnétique dans l'air est situé dans une zone d'éjection 18 proche de l'entrefer E1.

[0052] Ledit entrefer E1 forme alors une barrière magnétique immatérielle, s'opposant au passage d'objets métalliques, y compris notamment les objets métalliques non magnétiques.

[0053] De préférence, la surface de la première portion 1 en face du volet magnétique 4 est petite, afin d'augmenter la concentration du champ magnétique et du gradient de champ magnétique dans une zone d'éjection 18 en proximité de l'entrefer E1.

[0054] La surface 10 de la première portion opposée au fond présente peut comporter un ou plusieurs chanfreins 17a, 17b agencées sur les angles entre la surface 10 et les faces de la portant les bobinages. Lesdits chanfreins s'étendent le long de l'entrefer et permettent de réduire la surface de la première portion en face du volet de tri et ainsi augmenter la concentration du champ magnétique autour des entrefers E1. Des tels chanfreins évitent en outre la saturation de l'élément magnétique dans les arrêtes de la première portion 1.

[0055] L'élément magnétique du volet de tri s'étend jusqu'à une zone proche de la surface 20 de la seconde portion 2 et est ainsi agencé de sorte à créer un retour de champ magnétique vers la seconde portion 2. Le trajet du champ magnétique est privilégié dans l'élément magnétique du volet de tri. Le trajet du champ magnétique dans l'air est ainsi minimisé. L'élément magnétique du volet de tri est ainsi une partie intégrante du circuit magnétique. Un tel agencement permet d'augmenter le champ magnétique et le gradient du champ magnétique dans la zone d'éjection en proximité de l'entrefer E1 pour une puissance donnée.

[0056] Le champ magnétique exerce une force d'attraction entre le circuit magnétique dans le noyau et le volet de tri. Il faut donc prévoir un maintien mécanique de la rampe d'éjection pour éviter le fléchissement de la rampe sous l'effet de cette force d'attraction.

[0057] La seconde portion 2 assure un retour des lignes de champ magnétique vers la première portion 1. Elle comprend de préférence une surface large afin de répartir le champ magnétique de manière uniforme et faible, le flux magnétique restant constant. En outre, la seconde portion 2 s'étend proche de l'élément magnétique 4 du volet de tri afin de minimiser l'étendue du champ magnétique dans l'air.

[0058] De manière avantageuse, comme illustré sur la figure 7 et la figure 8, une ou plusieurs pièces magnétiques 9 sont agencées entre l'élément magnétique du volet de tri et la deuxième portion 2 du noyau électromagnétique. Lesdites pièces magnétiques sont agencées pour guider le champ magnétique et ainsi minimiser le trajet des lignes de champ magnétique dans l'air entre le volet de tri et la deuxième portion 2. En outre, la géométrie des pièces magnétiques 9 permet le passage du convoyeur, et des objets non-éjectés transportés sur le convoyeur sous le volet.

[0059] Les paramètres du système sont choisis dans l'objectif de diminuer la reluctance R du circuit magnétique, c'est-à-dire le rapport de la longueur l du circuit magnétique et du produit de la perméabilité μ et de la surface S :

$$R = \frac{l}{\mu \cdot S} \quad (1)$$

[0060] Dans le système de tri, on peut distinguer quatre zones de reluctance. La première zone correspond au noyau magnétique avec, le cas échéant, des pièces magnétiques 9 et/ou des plaques 23, 24, La deuxième zone est la partie magnétique du volet de tri. Dans ces zones, la surface S correspond à la section de chaque partie respective.

[0061] La troisième zone est la zone d'éjection, et la quatrième zone correspond à la zone au-dessus de la deuxième portion 2, assurant le retour ou bouclage du champ magnétique. Dans la troisième et quatrième zone, la surface S est la section dans laquelle passent les lignes du champ magnétique. Ladite surface S correspond aux surfaces supérieures de la première portion 1 et la deuxième portion 2 agencées en face du volet de tri.

[0062] Dans la première zone, la longueur l correspond à la somme des longueurs de la première portion 1, du fond, de la deuxième portion 2 et, le cas échéant, les plaques 23, 24 et/ou des pièces magnétiques 9 dans la direction des lignes du champ magnétique. Dans la deuxième zone, la longueur est la longueur du volet de tri.

[0063] Dans la troisième zone, la longueur l correspond à la largeur de l'entrefer. Dans la quatrième zone, la longueur l est la distance entre la deuxième portion 2 et le volet de tri plus, le cas échéant, les distances entre les plaques 23, 24 et la partie magnétique du volet de tri.

[0064] La perméabilité magnétique du matériau μ s'exprime par le produit de la perméabilité du vide μ_0 et de la perméabilité relative μ_r :

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

[0065] μ_0 est une constante universelle, la constante magnétique (ou perméabilité magnétique du vide), qui vaut $4\pi \times 10^{-7}$ H/m. Dans l'air, la perméabilité magnétique relative μ_r est approximativement égale à 1. Le matériau du circuit magnétique présente typiquement une perméabilité magnétique relative de 10 à 100. Plus la perméabilité magnétique d'un élément est forte, plus la reluctance dans cet élément est faible. Cependant, une perméabilité magnétique relative plus élevée entraînerait une baisse trop importante de la valeur de saturation en champ magnétique et impliquerait une perte d'énergie conduisant à un échauffement important.

[0066] Le nombre d'Ampère-tours qui dimensionne le circuit magnétique est donné par la loi d'Hopkinson :

$$F = N \cdot I = R \cdot \varphi$$

φ étant le flux d'induction magnétique. Ledit flux correspond à l'induction magnétique dans une surface donnée. Dans la zone d'éjection, on cherche à augmenter le flux magnétique φ sans diminuer la surface concernée, afin de pouvoir trier une certaine quantité et un certain volume d'objets.

[0067] La reluctance R_{totale} du système de tri est la somme de quatre reluctances pour les quatre zones du système de tri, chaque reluctance étant donnée par l'équation (1) avec les paramètres longueur l , surface S et perméabilité magnétique μ des quatre zones respectives

$$R_{\text{totale}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

où R_1 est la reluctance magnétique du noyau magnétique, R_2 est la reluctance magnétique de l'élément magnétique du volet de tri, R_3 est la reluctance de la zone d'éjection, et R_4 la reluctance dans la zone de retour ou bouclage du champ magnétique.

[0068] Parmi ces quatre zones, la zone troisième et quatrième zone concernent un champ magnétique dans l'air.

[0069] En raison de la perméabilité magnétique relative élevée, typiquement comprise entre environ 10 et 100, dans le circuit magnétique, la reluctance dans ce circuit est faible et peut être négligée par rapport à la reluctance dans la troisième et quatrième zone dans lesquelles le champ magnétique est dans l'air.

[0070] L'équation précédente peut donc être simplifiée :

$$R_{\text{totale}} = R_3 + R_4$$

[0071] On cherche donc à raccourcir la longueur du

champ dans ces zones dans l'air, en rapprochant le plus que possible l'entrefer à la surface supérieure de la deuxième portion 2.

[0072] La reluctance R_3 de la zone d'éjection est liée à la géométrie du système et ne peut quasiment pas être modifiée.

[0073] Concernant la quatrième zone de retour ou bouclage du champ magnétique, la distance entre le noyau magnétique et l'élément magnétique du volet de tri présente une distance minimale permettant aux objets non éjectés d'être évacués. Elle est donc imposée par des considérations mécaniques. Cependant, le système de tri est préférablement conçu de sorte que la surface S de cette zone soit la plus grande possible.

[0074] Une possibilité de réduire la reluctance sur le trajet de retour (bouclage) est d'ajouter des pièces magnétiques 9 sur l'entrefer, par exemple des rouleaux, éventuellement discontinus, qui permettent à la fois de guider le champ magnétique dans un trajet à forte perméabilité magnétique. De plus, ces pièces 9 peuvent effectuer un mouvement mécanique facilitant le passage des éléments non conducteurs et non éjectés.

[0075] Le fait de limiter le champ magnétique dans l'air et d'optimiser le passage du champ magnétique dans des éléments magnétiques du système permet de réduire la puissance réactive nécessaire.

[0076] La géométrie du noyau prend en compte le champ magnétique afin d'obtenir une zone de champ magnétique la plus concentrée dans la zone d'éjection des objets métalliques. On évite ainsi les angles droits, notamment aux abords de la zone d'éjection afin d'éviter la saturation du champ magnétique dans lesdits angles.

Application d'un champ magnétique

[0077] Quand le noyau électromagnétique est alimenté par un générateur de courant électrique appliquant un courant électrique alternatif aux bobinages 11, 21, un champ magnétique alternatif est établi dans le noyau, l'élément magnétique 4 du volet de tri, et l'entrefer E1. Un tel courant électrique présente typiquement une intensité d'environ 2400A.tours, repartit par exemple sur 20 tours à 120 A chacun. Ce courant crée un champ magnétique compris entre 0,3 et 0,4 T dans un noyau en ferrote et environ 0,1 T dans l'entrefer E1. Le nombre de fils et donc de tours est limité par l'espace dans l'installation, l'échauffement dû au courant électrique, et des éventuels problèmes de surtension.

[0078] La fréquence est choisie en fonction de la taille et la distribution des tailles des objets à trier. Elle est typiquement comprise entre 20 et 35 kHz et peut monter jusqu'à 150 kHz. De manière générale, on applique des fréquences plus élevées quand les objets à trier sont plus petits, et des fréquences plus basses pour des plus grands objets à trier. Cependant, une fréquence élevée implique un échauffement et des pertes électrique importantes. L'inductance et la capacité seront donc pris en compte pour déterminer la fréquence du fonctionne-

ment.

Procédé de tri

[0079] Lorsqu'un objet métallique non magnétique est placé dans un champ magnétique unidirectionnel sur un axe dont la valeur augmente sur un deuxième axe perpendiculaire au premier axe, des courants électriques tourbillonnants à l'intérieur de l'objet sont induits. L'interaction desdits courants électriques tourbillonnants avec le champ magnétique engendre des forces électromagnétiques (connues sous le nom de force de Lorentz) perpendiculaires aux lignes de valeur de champ magnétique constante. La force exercée sur l'objet métallique dans une zone de champ magnétique fort est plus importante que la force sur ledit objet dans une zone de champ magnétique plus faible. Le gradient de champ magnétique implique une résultante des forces qui pousse l'objet métallique dans le sens de la décroissance du champ magnétique.

[0080] Les courants électriques induits dans les objets dépendent de la conductivité électrique de la matière, de leur forme et surface, mais également de la fréquence du champ magnétique. Les courants électriques induits ont la même fréquence que celle du champ magnétique appliqué, et un effet de peau se produit dans l'objet. Plus la fréquence du champ magnétique alternatif est élevée, plus le courant électrique va circuler en surface de l'objet.

[0081] Pour les particules fines cet effet permet d'éviter que le courant électrique induit ne soit annulé par le courant électrique induit circulant dans la surface opposée. En augmentant la fréquence du champ magnétique, on facilite ainsi l'éjection des particules fines car les forces ne sont pas atténuées par l'annulation des courants électriques induits.

[0082] Quand un ensemble d'objets à trier est transporté vers l'entrefer par le convoyeur 6 en direction de la première portion 1, un tel courant électrique tourbillonnant se produit dans les objets métalliques non magnétiques s'approchant à l'entrefer. Un objet métallique peut ainsi être éjecté dans une direction dépendant du gradient du champ magnétique.

[0083] En outre, la gravité, un éventuel frottement avec l'air et/ou des objets solides tels que la rampe d'éjection, et des courants d'air peuvent exercer d'autres forces pouvant ralentir les objets éjectés ou modifier leur trajectoire et doivent être pris en compte pour la conception du système de tri. La géométrie du système de tri doit alors être adaptée aux forces supplémentaires exercées sur les objets, en assurant que le gradient du champ magnétique est proche de sa valeur maximale dans la zone d'éjection des objets, et que la direction dudit gradient est orientée dans la direction souhaitée pour l'éjection. Par exemple, on peut ajuster la position du bord biseauté du volet de tri, et, le cas échéant, la rampe d'éjection en optimisant la largeur de l'entrefer et le positionnement de ladite rampe par rapport à la zone d'éjection en fonction du gradient du champ magnétique à

proximité de l'entrefer.

[0084] Les objets métalliques éjectés au niveau de l'entrefer sont, le cas échéant, guidés par la rampe d'éjection vers un système de récupération d'objets métalliques. Les objets non-métalliques ne sont pas éjectés au niveau de l'entrefer et peuvent être récupérés sur le convoyeur dans une étape ultérieure.

Installation de tri

[0085] Le tri et l'éjection de petits objets, présentant par exemple une section de 2mm × 2mm et une épaisseur de 0,1 mm, implique d'autres contraintes techniques en raison du frottement de l'air. Les forces électromagnétiques qui agissent sur les petits objets sont, en-dessous d'une certaine taille en fonction du poids et de la géométrie des particules, négligeables par rapport aux forces de frottement de l'air. Le faible mouvement imposé par ces forces électromagnétiques n'est donc pas un facteur suffisamment discriminant pour trier et éjecter ces objets qui suivent tous un mouvement plus ou moins aléatoire (non déterministe) en fonction de leur densité, de leur coefficient de pénétration dans l'air et des mouvements d'air aléatoires dans la zone de tri.

[0086] Afin de trier des tels objets de petites dimensions, on essaie donc de diminuer ou supprimer le frottement de l'air. Dans ce but, une installation de tri pour des particules peut comprendre, en référence à la figure 6, une zone 66 hermétiquement fermée et/ou sous dépressurisation. Cette zone 66 est agencée au-dessus d'au moins une partie du convoyeur et du volet de tri. Dans cette zone 66 hermétique et/ou sous dépressurisation, le frottement d'air est au moins partiellement supprimé, résultant en un mouvement de chute libre dans le vide où tous les objets suivent alors exactement la même trajectoire. Une force électromagnétique même faible est alors un facteur de discrimination et permet de trier des objets de toutes dimensions.

Système de tri comprenant plusieurs entrefers

[0087] On peut adapter un ou plusieurs entrefers afin de trier des objets de différentes tailles et de granulométries très différentes.

[0088] Dans certains modes de réalisation, en référence aux figures 4 et 5, plusieurs entrefers E2, E3 sont formés entre la première portion 1 du noyau et des plaques 14. 24 parallèles au bord biseauté de l'entrefer E1.

[0089] Dans d'autres modes de réalisation, en référence à la figure 9, le noyau peut comprendre plusieurs premières portions 1a, 1b, 1c et plusieurs deuxièmes portions 2a, 2b, 2c. Dans ce cas, un entrefer est formé entre la première portion 1a et le bord 14 de l'élément magnétique du volet de tri, et d'autres entrefers E2b, E3c sont formés entre les premières portions 1b, 1c et les éléments magnétiques 4b, 4c respectifs.

[0090] Dans les modes de réalisation comprenant des entrefers supplémentaires E2, E3, E2b, E3c, le passage

du champ magnétique dans l'air est limité pour chaque entrefer tel que décrit pour l'entrefer E1.

[0091] En référence à la figure 5, un fort gradient du champ magnétique dans l'air est situé dans une zone respective autour de chaque entrefer. Les entrefers E2, E3, E2b, E3c forment ainsi chacun une barrière magnétique supplémentaire s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques.

[0092] La succession des premières portions 1a, 1b, 1c a pour but de redonner une impulsion aux objets éjectés lorsqu'ils commencent à subir les frottements de l'air.

[0093] Dans certains modes de réalisation, les entrefers E1, E2, E3 ou E1a, E2b, E3c sont agencés à une distance de quelques centimètres entre eux. A titre d'exemple illustratif et non limitatif les entrefers sont agencés à une distance d'environ 5 cm entre le milieu de chaque entrefer. On obtient ainsi une succession des forces électromagnétiques assurant une trajectoire plus forte et plus constante. Un tel agencement est utile afin de compenser les effets de frottement d'air quand tous les objets à trier sont de petites dimensions, c'est-à-dire dont la dimension la plus grande est inférieure à environ 10 cm.

[0094] Dans d'autres modes de réalisation, plusieurs entrefers E1, E2, E3 ou E1a, E2b, E3c sont agencés à une distance de plusieurs dizaines de centimètres. Un tel mode de réalisation permet de créer une zone d'éjection respective pour chaque entrefer. Chaque zone d'éjection peut ainsi avoir des réglages différents. Des tels réglages permettent d'éjecter des objets de taille, de poids ou de forme très différente dans chaque zone d'éjection correspondant aux entrefers respectifs. Une telle configuration peut être envisagée par exemple quand le mélange d'objets à trier est d'une composition très inhomogène.

[0095] Un autre mode de réalisation d'un système de tri comporte plusieurs circuits magnétiques agencés en série dans lesquels passe un moyen de transport commun tel qu'un convoyeur 6. Les espacements et la taille desdits circuits magnétiques sont définis en fonction de la taille et de la vitesse de déplacement des objets, de la densité et l'intensité du champ magnétique.

[0096] On peut ainsi réaliser une installation de tri comprenant plusieurs zones d'éjection adaptées pour trier des objets selon leur forme, leur taille et leur matière. Par exemple, une telle installation peut comprendre une zone d'éjection adaptée pour trier des objets volumineux, une zone d'éjection permettant de trier les objets en inox, et une zone d'éjection permettant de trier les objets de petite taille ou d'autres objets ayant des propriétés distinctes.

[0097] De manière avantageuse, l'installation comprend en outre un système de tri d'objets magnétiques comportant des aimants, agencé en amont du système de tri selon l'invention, afin d'évacuer les objets magnétiques avant le passage du mélange des objets dans le système de tri.

[0098] Dans certains modes de réalisation, le volet de tri peut être excité par une source de courant alternatif

afin de former une partie active du système magnétique. Dans ce cas, la source de courant alternatif est synchrone avec la source de courant alimentant les bobinages et orientée dans le même sens.

REFERENCES

[0099]

FR 2116430
WO2017/044863

Revendications

1. Système de tri par séparation magnétique d'objets métalliques, comprenant :

- un noyau électromagnétique comprenant :

- au moins une première portion (1) comportant un bobinage (11),
- une seconde portion (2), la seconde portion étant plus large que la première portion,
- et un fond (3) reliant la première portion à la seconde portion,

- un volet de tri agencé en regard dudit noyau électromagnétique de sorte à ménager, entre le volet de tri et le noyau électromagnétique, un espace de circulation pour un convoyeur (6) d'objets à trier de la première portion (1) vers la seconde portion (2),
ledit système de tri étant **caractérisé en ce que** le volet de tri comprend un élément magnétique (4) agencé de manière à former un entrefer (E1) entre la première portion et le volet de tri, ledit entrefer formant une barrière magnétique s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques, de sorte que lesdits objets métalliques non magnétiques sont éjectés du convoyeur (6),
la seconde portion étant agencée entre le fond et une portion de l'élément magnétique du volet de tri opposée à l'entrefer pour assurer un retour des lignes de champ magnétique vers la première portion.

2. Système selon la revendication 1, dans lequel l'élément magnétique (4) du volet de tri s'étend parallèlement au convoyeur (6).

3. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément magnétique (4) du volet de tri se présente sous la forme d'une plaque plane.

4. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le volet de tri comprend au moins

une portion (54) non magnétique.

5. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément magnétique présente un bord (14) agencé en regard de la première portion (1) dans une direction transversale au convoyeur (6), ledit bord (14) étant biseauté de sorte à former un plan incliné orienté dans le sens de circulation du convoyeur en s'éloignant du noyau électromagnétique.

6. Système selon la revendication 5, dans lequel le volet de tri comprend en outre au moins une plaque magnétique (24, 34) parallèle au bord biseauté (14) de l'élément magnétique, chaque plaque étant agencée en regard de la première portion (1) pour former un entrefer respectif (E2, E3) formant une barrière magnétique supplémentaire s'opposant au passage d'objets métalliques non magnétiques.

7. Système selon l'une des revendications 5 ou 6 en combinaison avec la revendication 4, dans lequel la portion non magnétique du volet de tri comprend une rampe d'éjection (54) des objets métalliques non magnétiques s'étendant sur l'élément magnétique du côté opposé au noyau électromagnétique, ladite rampe d'éjection étant coplanaire avec le bord biseauté de l'élément magnétique.

8. Système selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel le bord biseauté (14) de l'élément magnétique est en retrait par rapport à une région centrale (10) de la première portion (1) dans le sens de circulation du convoyeur (6).

9. Système selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la deuxième portion comprend un bobinage et le nombre de tours du bobinage sur la première portion est supérieur au nombre de tours du bobinage sur la deuxième portion.

10. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la surface (10) de l'au moins une première portion opposée au fond présente au moins un chanfrein (17a, 17b) le long de l'entrefer.

11. Système selon l'une des revendications précédentes comprenant une ou plusieurs pièces magnétiques (9) agencées entre l'élément magnétique du volet de tri et la deuxième portion du noyau électromagnétique pour guider le champ magnétique dans ces pièces magnétique et ainsi minimiser le trajet des lignes de champ magnétique dans l'air entre le volet de tri et la deuxième portion.

12. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'au moins une première portion (1) et la deuxième portion (2) sont en ferrite.

13. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément magnétique (4) du volet de tri est en ferrite.
14. Installation de tri d'un ensemble d'objets contenant des objets métalliques, comprenant 5
- un système de tri selon l'une des revendications précédentes, et
 - un convoyeur (6) adapté pour transporter l'ensemble d'objets en direction du système de tri, ledit convoyeur étant agencé de sorte à traverser le système de tri entre le noyau électromagnétique et le volet de tri, la barrière magnétique formée par l'un entrefer (E1) entre la première portion du noyau électromagnétique et le volet de tri étant adaptée pour éjecter les objets métalliques non magnétiques, et 10
 - un système de récupération agencé pour récupérer les objets métalliques non magnétiques éjectés. 15 20
15. Installation selon la revendication 14, dans laquelle le convoyeur (6) est une bande de convoyage ou une glissière. 25
16. Installation selon l'une des revendications 14 ou 15 comprenant en outre une zone hermétique (66) agencée au-dessus d'au moins du convoyeur et du volet de tri, et un dispositif de dépressurisation agencé de manière à créer, dans ladite zone, un mouvement d'air adapté pour orienter les objets métalliques non magnétiques éjectés par le système de tri magnétique dans une direction définie. 30 35
17. Installation selon l'une des revendications 14 à 16, comprenant un système de refroidissement du noyau électromagnétique.
18. Procédé de tri d'objets métalliques, comprenant 40
- le transport d'un ensemble d'objets métalliques dans une installation selon l'une des revendications 14 à 17,
 - l'éjection des objets métalliques non magnétiques par la barrière magnétique, 45
 - le passage des objets non métalliques dans l'entrefer entre la première portion (1) du noyau électromagnétique et le volet de tri. 50

55

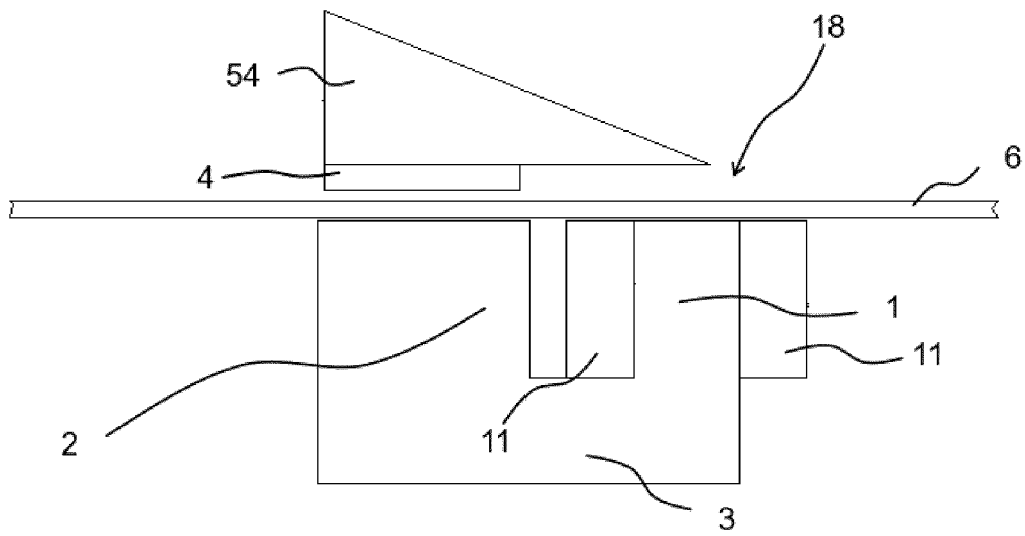


FIGURE 1

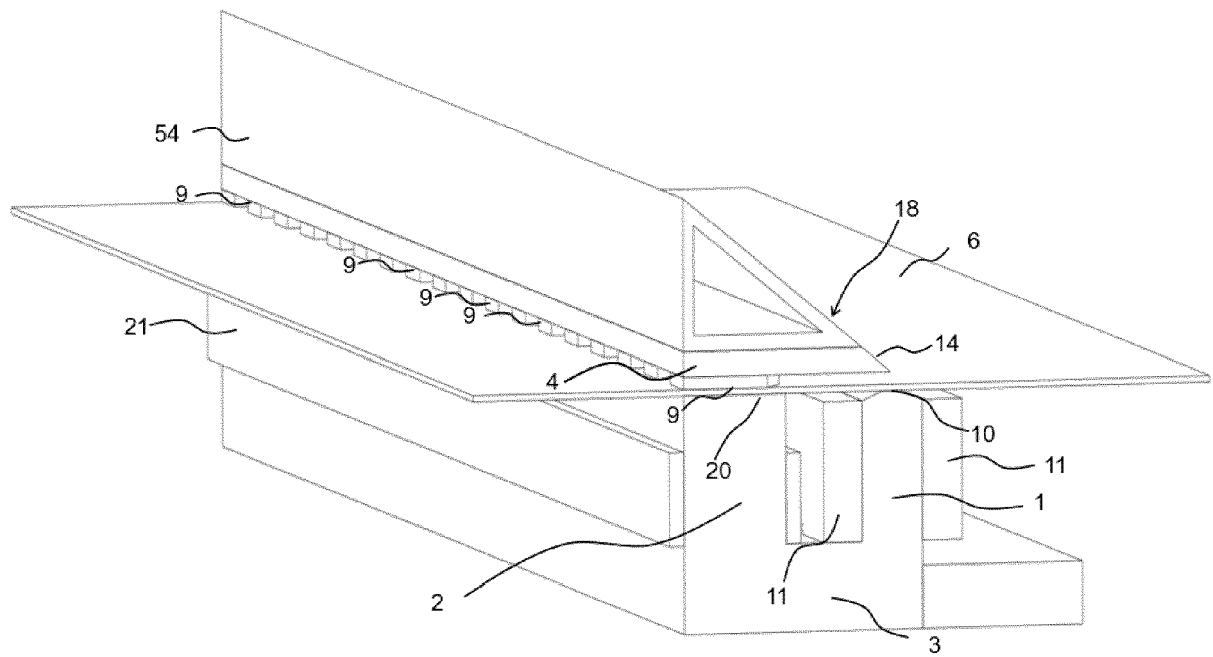


FIGURE 2

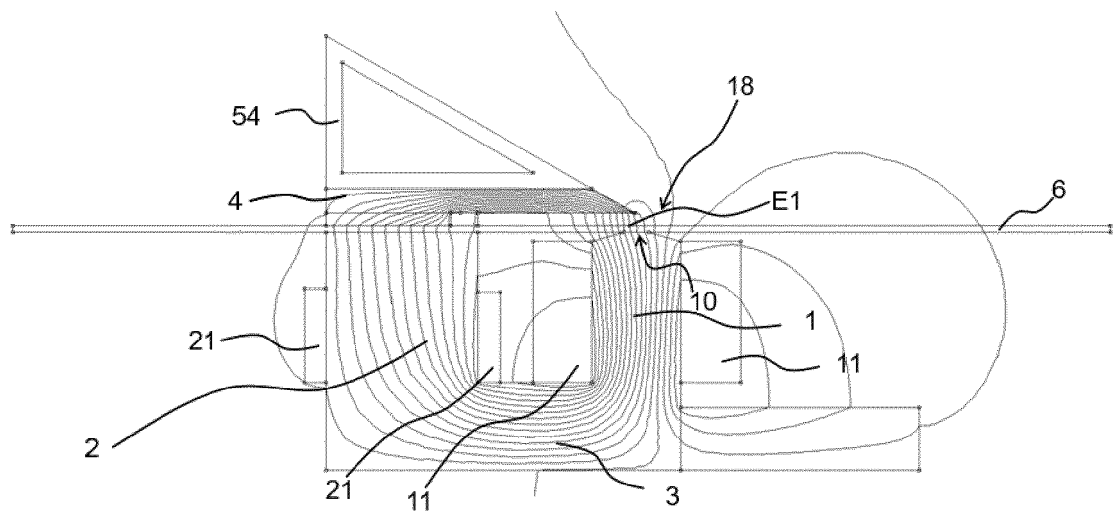


FIGURE 3

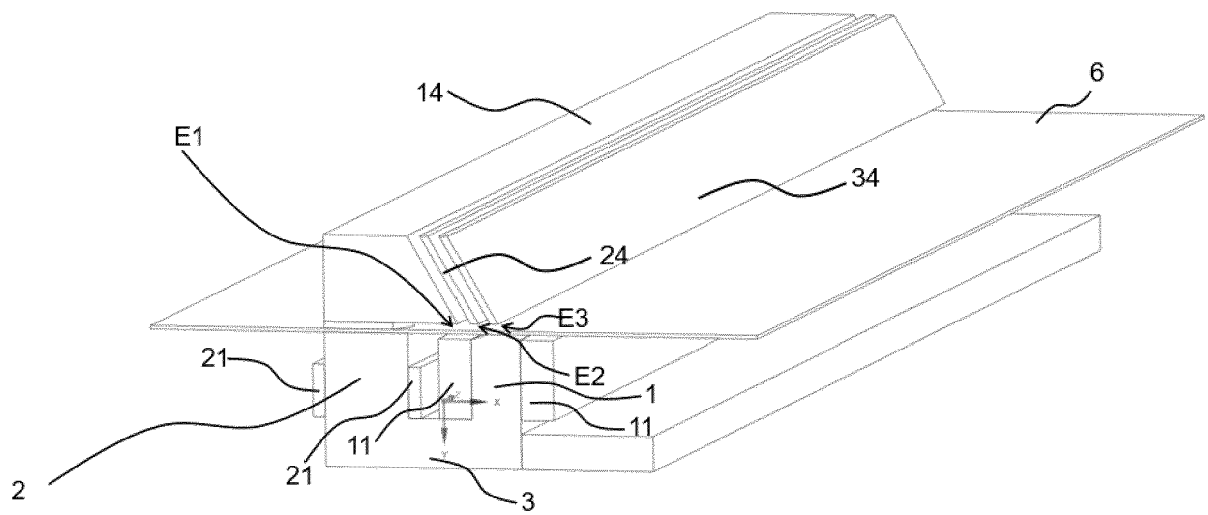


FIGURE 4

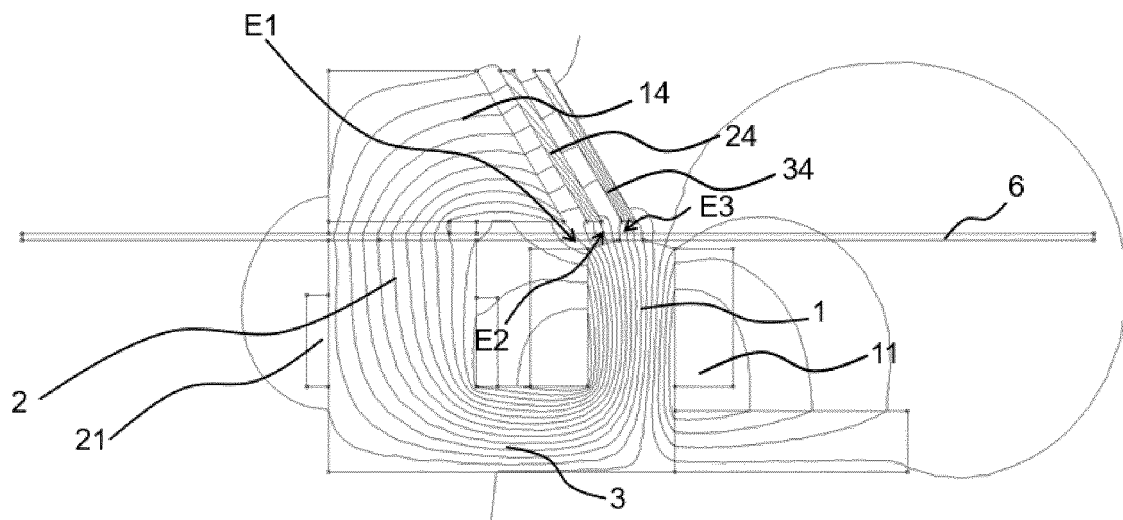


FIGURE 5

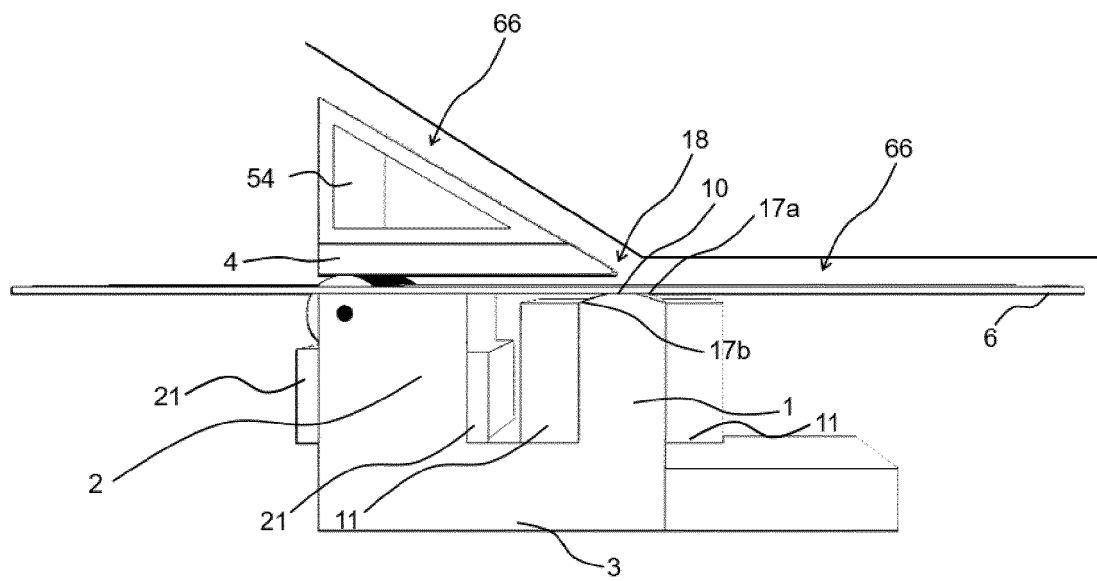


FIGURE 6

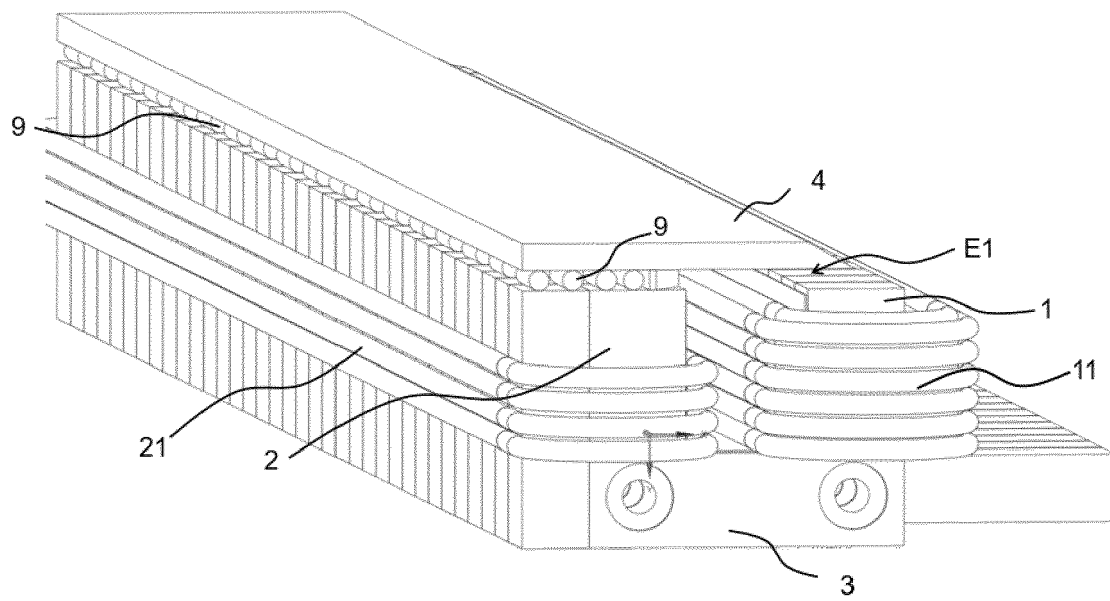


FIGURE 7

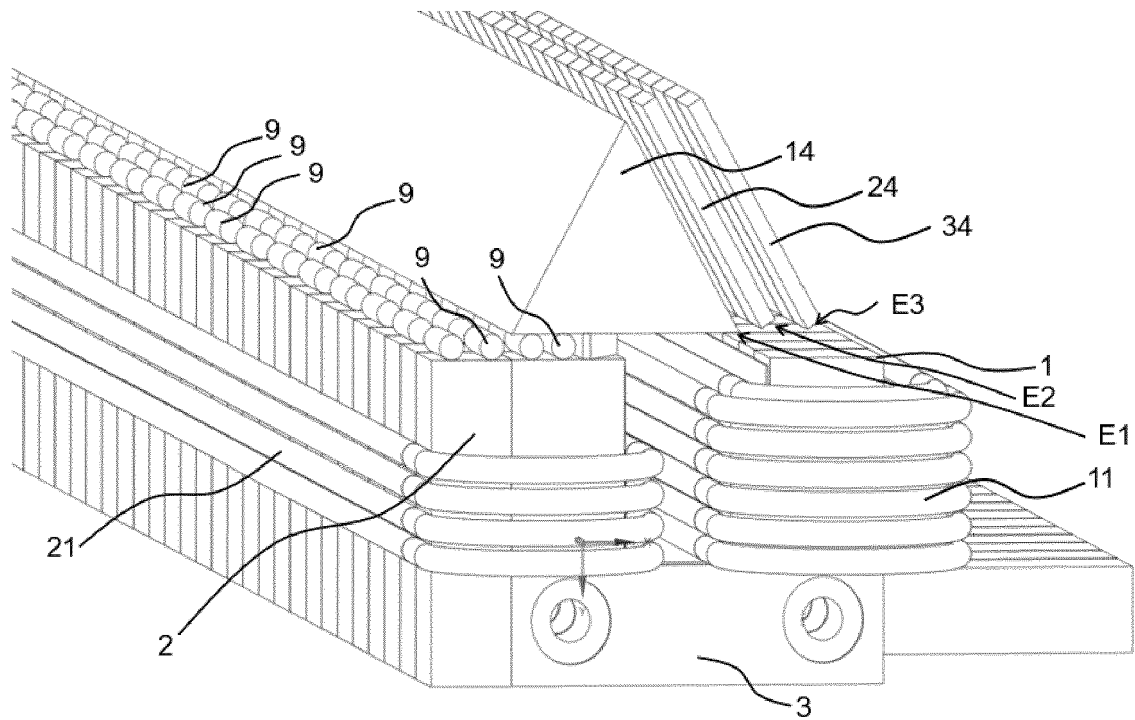


FIGURE 8

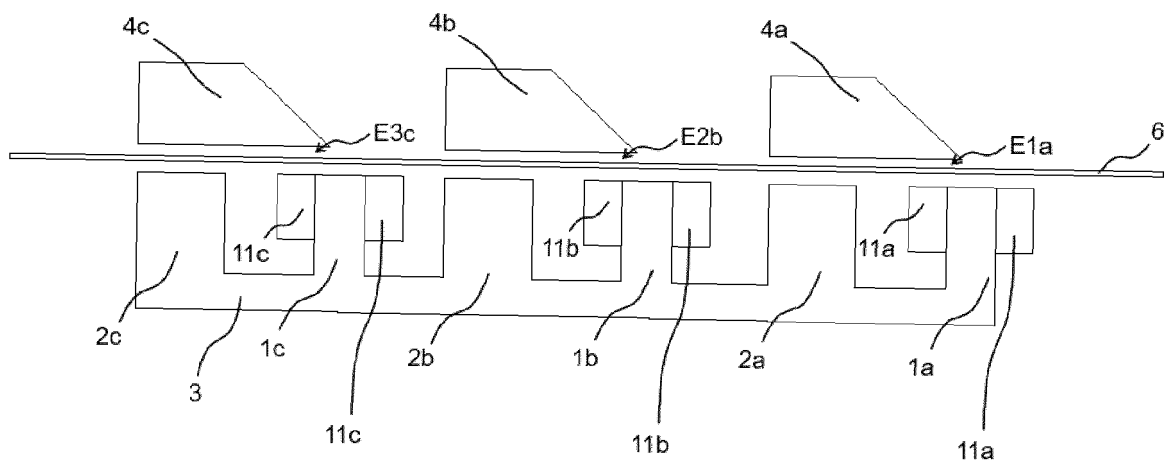


FIGURE 9



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 16 6249

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	WO 2019/070539 A1 (UNIV UTAH RES FOUND [US]) 11 avril 2019 (2019-04-11) * alinéa [0035] - alinéa [0040]; figures 1, 3 *	1-18	INV. B03C1/033 B03C1/24
A,D	FR 2 116 430 A1 (PREUSSAC AG) 13 juillet 1972 (1972-07-13) * page 8, ligne 19 - page 9, ligne 8; figure 6 *	1-18	
A	US 5 823 354 A (ELKIND ALEXANDER [US] ET AL) 20 octobre 1998 (1998-10-20) * le document en entier *	1-18	
A	FR 2 447 228 A1 (DN GORNY I I) 22 août 1980 (1980-08-22) * le document en entier *	1-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B03C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 20 juillet 2023	Examineur Skaropoulos, N
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 23 16 6249

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

20-07-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2019070539 A1	11-04-2019	AUCUN	
FR 2116430 A1	13-07-1972	DE 2059166 A1 FR 2116430 A1	29-06-1972 13-07-1972
US 5823354 A	20-10-1998	AU 706725 B2 CA 2243144 A1 EP 0914210 A1 US 5823354 A WO 9726084 A1	24-06-1999 24-07-1997 12-05-1999 20-10-1998 24-07-1997
FR 2447228 A1	22-08-1980	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2116430 [0005] [0099]
- WO 2017044863 A [0006] [0099]